



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

PŘEHLED A POROVNÁNÍ PRINCIPŮ ČINNOSTI SOUČASNÝCH DRUHŮ GNSS VE SVETĚ

SURVEY & COMPARISON OF OPERATION PRINCIPLES OF THE EXISTING GNSS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

FILIP STRAŇÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. SLAVOMÍR VOSECKÝ, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Filip Straňák

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Profesionální pilot (3708R030)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Přehled a porovnání principů činnosti současných druhů GNSS ve světě

v anglickém jazyce:

Survey & comparison of operation principles of the existing GNSS

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Shromáždit, uspořádat a posoudit informace o principech činnosti, provozních vlastnostech a použitelnosti současných existujících družicových systémů ve světě pro potřeby letecké přepravy.

Cíle bakalářské práce:

Seznámit se s principy činnosti družicových zařízení pro měření polohy. Umět posuzovat jejich přesnost a integritu. Pochopit jejich možnosti přispívat k řešení úkolů letecké navigace a řízení letového provozu.

Seznam odborné literatury:

- [1] GROVES, P.D.: GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems, ARTECH House, Boston/London, 2008, ISBN-13: 978-1-58053-255-6
- [2] KAYTON, M., FRIED, W.R.: Avionics Navigation Systems, second edition, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1997, ISBN 0-471-54795-6
- [3] KULČÁK, L. a kolektiv: Učebnice pilota vrtulníku, část II, PPL(H), CERM Brno, 2010, ISBN 978-80-7204-638-6

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 15.11.2013

L.S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca sa zaoberá prehľadom a porovnaním súčasných globálnych navigačných družicových systémov a ich prínosom do leteckej dopravy. Sú priblížené základné princípy funkcie ako aj rozdiely medzi jednotlivými systémami. V texte je zdôrazňovaný význam kvalitatívnych vlastností navigačných zariadení, na ktorých stavajú jednotlivé druhy GNSS. Prínos je posudzovaný vzhľadom k leteckej doprave.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

globálny navigačný družicový systém, GNSS, letecká doprava

ABSTRACT

Purpose of this bachelor thesis is an overview and comparison of current global navigation satellite systems and their contribution to air traffic. Basic principles of GNSS and differences between each system are clarified. This thesis emphasized importance of qualitative properties of navigation systems, which GNSS is built upon. Its benefits are assessed according to air traffic needs.

KEYWORDS

global navigation satellite system, GNSS, air traffic

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA PRÁCE

STRAŇÁK, F. *Přehled a porovnání principů činnosti současných druhů GNSS ve světě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Letecký ústav, 2014. 43 s. Vedoucí práce: doc. Ing. SLAVOMÍR VOSECKÝ, CSc.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne s pomocou literatúry a internetových zdrojov uvedených v zozname použitých zdrojov.

V Brne dňa 27.5.2014

.....

Filip Straňák

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce doc. Ing. Slavomírovi Voseckému, CSc. za vedenie práce a rady a pripomienky k spracovaniu práce.

Obsah

1. Úvod	9
1.1 Úlohy a ciele práce	9
2. Charakteristika GNSS	10
2.1. Predstavenie a základné pojmy	10
2.3 Princíp práce	11
2.4 Referenčný systém	11
3. Funkčné rozdelenie GNSS	12
3.1 Kozmický segment	12
3.1.1 Keplerove zákony	12
3.1.2 Parametre obežných dráh	13
3.1.3 GPS	13
3.1.4 GLONASS	14
3.1.5 GALILEO	15
3.1.6 COMPASS	16
3.2 Riadiaci segment	16
3.2.1 GPS	16
3.2.2 GLONASS	17
3.2.3 Galileo	18
3.2.4 COMPASS	18
3.3 Uživatelský segment	19
3.4 Vlastnosti signálov a navigačná správa	20
3.4.1 Signály družíc GPS	20
3.4.2 Signály družíc GLONASS	21
3.4.3 Signály družíc Galileo	22
3.4.4 Signály družíc COMPASS	23
3.4.5 Možnosti spolupráce systémov	24
4. Účel a predpokladaný rozvoj	25
5. Presnosť a chyby systému	26
6. Zhodnotenie jednotlivých systémov	28
7. GNSS a letecká doprava	30
7.1 Augmentácie systému	31
7.1.1 ABAS	31

7.1.2 GBAS.....	31
7.1.3 SBAS	32
7.1.4 Význam SBAS.....	33
7.2 Automatic dependent surveillance - Broadcast	35
7.3 Zaoceánske lety.....	35
8. Záver	36
9. Zoznam použitých zdrojov.....	38
9.1 Zoznam použitej literatúry.....	38
9.2 Zoznam internetových zdrojov	38
9.3 Zoznam použitých obrázkov.....	40
10. Zoznam použitých skratiek:	42

1. Úvod

Od nepaměti člověk objavoval Zem a zaznamenával svoje poznatky s cílem zmapovat zemský povrch pro možnost použití pro budoucí lehší orientaci. Prvotné pokusy se samozřejmě ve velké míře odlišovali od reality, svou úlohu však plnili. S postupem času však nároky rostli a dané způsoby mapování a navigace nedostačovali. Treba poznamenat, že to byli právě období vojen a konfliktů, které podnecovali jednotlivé národy k napredování. Rozdílem nebyl ani družicový navigační systém. Rusko a USA, jako první národy, byli během studené války vlivem nejistoty a podezření nuceni zdokonalit svoje navigační techniky. V dané době však systém ani zdaleka nedosahoval kvality, aby mohl být použitý v zložkách jako letectvo. Vývojem technologie byl spoznaný potenciál tohoto řešení navigačních úloh. Po sprístupnění si ho preto začala veřejnosť čoraz viac osvojovať a po globálnom vyradení Selective availability u GPS nastal jeden z najväčších prevratov v spôsobe navigácie a určovania polohy v mnohých odvetviach. Postupná zvyšujúca sa kvalita prijímaného signálu a možnosti užívateľského zariadenia viedli k tomu, že služby GNSS začali využívať aj zložky, v ktorých možné riziko toto kedysi nedovoľovalo. Jedná sa najmä o leteckú dopravu, o ktorej je pojednávané v tejto práci.

1.1 Úlohy a ciele práce

Na základe úloh a cieľov práce som sa zameril po prvotnom objasnení GNSS na oboznámenie čitateľa s princípmi činnosti a parametrami jednotlivých GNSS. Možnosti presnosti a integrity systémov sú približované postupne na základe špecifikácií vplyvov nepriaznivých pre činnosť, ale zároveň je pojednávané aj o tzv. augmentáciách, ktorých úlohou je práve presnosť a možnosti integrity zvyšovať na patričnú úroveň. V poslednom rade je poukázané na možnosti, ktorými prispieva GNSS do riešenia otázok navigácie leteckej dopravy.

2. Charakteristika GNSS

2.1. Predstavenie a základné pojmy

Globálny navigačný satelitný systém je navigačný a pozičný systém využívajúci pre svoju funkciu nepretržitý príjem satelitných signálov. Systém poskytuje autonómne a priestorové určenie polohy v globálnom merítke. GNSS umožňuje prijímačom určenie polohy a času nezávisle na vonkajších podmienkach kdekoľvek na svete.[1]

Najznámejšie systémy sú „*Navigation by Satellite Timing and Ranging*“ (NAVSTAR) *Global Positioning System* (GPS), ktorú vlastní a prevádzkuje americká armáda. V prevádzke je aj *Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema* (GLONASS). Európsky program GALILEO je v štádiu vývoja spolu s čínskym navigačným systémom COMPASS.[4]

Všetky tieto systémy predstavujú veľký pokrok v CNS. Sú charakterizované celosvetovou dostupnosťou, nepretržitou činnosťou, vysokou presnosťou a prakticky trvalou dostupnosťou, pričom prekonávajú vlastnosti všetkých ostatných technológií CNS. Je nutné sa ale zmieniť, že nedosahujú potrebnú úroveň integrity, a preto nie sú doposiaľ plne akceptované ako spoľahlivé zdroje navigačných informácií. Tento fakt je ale len otázkou času, kedy sa GNSS v CNS stanú primárnymi technológiami a vytlačia ostatné. Všetky tieto systémy využívajú definované zostavy umelých navigačných družíc, ktoré v súčinnosti s pozemnými riadiacimi a komunikačnými strediskami umožňujú užívateľským palubným alebo pozemným prijímačom určovať okamžité polohy týchto prijímačov, rýchlosti ich pohybu a čas.

Pre náš účel je nutná charakteristika základných kvalitatívnych vlastností systému:

- **dostupnosť (availability)** - pravdepodobnosť toho, že pri použití užívateľského zariadenia odpovedajúcej technickej úrovne sú signály GNSS merateľné v celom záujmovom priestore.
- **nepretržitosť (continuity)** - pravdepodobnosť toho, že pri použití užívateľského zariadenia odpovedajúcej technickej úrovne sú signály systému v celom danom priestore merateľné v každom okamžiku.
- **presnosť (accuracy)** - pravdepodobnosť toho, že pri použití užívateľského zariadenia odpovedajúcej technickej úrovne, celková chyba polohy v celom záujmovom priestore neprekročí stanovenú hodnotu.
- **integrita (integrity)** - pravdepodobnosť toho, že pri použití užívateľského zariadenia odpovedajúcej technickej úrovne nedôjde k narušeniu celkovej/úplnej funkcie systému predpokladanej užívateľom (tzn. nedôjde k narušeniu správnej funkcie a výstupu systému vplyvom vzniklej poruchy).

Môže byť charakterizovaná aj maximálnou hodnotou omeškania medzi okamžikom vzniku poruchy systému a okamžikom kedy sa o poruche dozvie užívateľ.[10]

- **funkcionalita (functionality)** - je výsledok alebo možnosti systému, ktoré je možné poskytovať užívateľovi.

2.3 Princíp práce

GNSS je časomerný - diaľkomerný systém, ktorý predpokladá, že prijímač pozná obežné dráhy družíc (efemeridy), ktoré sú uvedené v navigačnej správe vysielanej spolu so signálom družice a pomocou určenia času príchodu signálu z družice na anténu prijímaču vyhodnotí vzdialenosť od jednotlivých družíc, a tým svoju 3D polohu. Je pasívne pracujúcim systémom, pretože prijímač si sám nemeria čas vyslania signálu.

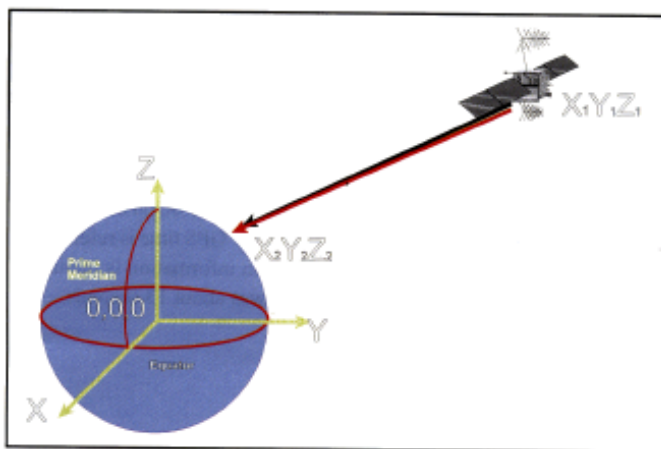
Vzdialenosť je rovná rýchlosti šíriaceho sa signálu vynásobenú časom od vyslania signálu po príchod na anténu prijímaču. Prijímač pozná rýchlosť signálu, teda rýchlosť rádiového signálu, ktorá je ekvivalentná rýchlosti svetla vo vákuu – 299,792,458 m/s . Šírenie signálu je ovplyvnené atmosférou Zeme. [1]

Platí že :

$$R_i = [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2]^{0.5} \quad (2.1)$$

kde x, y, z sú súradnice okamžitej polohy prijímača a x_i, y_i, z_i sú súradnice polohy vysielajúcej družice v okamžiku vyslania meriaceho signálu. Vzdialenosť R_i sa určuje pomocou merania doby šírenia signálu od družice k prijímaču.

$$R_i = c * \Delta t_i \quad (2.2)$$



Obr. 1 Karteziánsky súradnicový systém [30]

2.4 Referenčný systém

GNSS používa trojdimenzionálny Karteziánsky systém súradníc s počiatkom v strede Zeme. Keďže GNSS má globálny charakter, bolo nutné vytvoriť spoločný model Zeme. The World Geodetic Survey z roku 1984 bol vybraný za kompetentný model pre GPS a všetky body na Zemi sú k nemu definované za použitia Karteziánskeho systému súradníc. Rusko vytvorilo vlastný model Zeme známy pod skratkou PZ90/PZ90.02 (Parametry Zemli, verzia .02 od roku 2007), ktorý využíva systém GLONASS. Systém Galileo využíva GTRF (Galileo Terrestrial Reference Frame). Systém COMPASS bude využívať Beijing 1954, ktorý je vhodný pre územie Ázie.[10]

3. Funkčné rozdelenie GNSS

Pre správnu funkčnosť systém vyžaduje tri segmenty podieľajúce sa na rôznych činnostiach špecifické pre každý z nich.

3.1 Kozmický segment

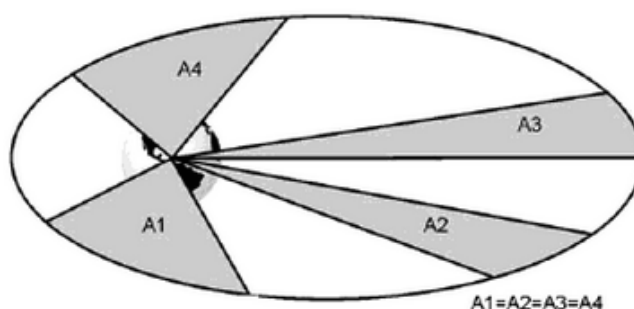
Kozmický segment GNSS sa skladá z rady satelitov vysielajúcich rádiové signály. Satelity ležia na stredných obežných dráhach (stredná výška orbít je približne 20000km), čo sa však líši pre danú konšteláciu. Pri práci v takýchto výškach je signálom umožňované pokryť veľkú časť Zeme. Satelity sú na oblohe usporiadané takým spôsobom, že prijímač GNSS môže za každých podmienok prijímať signál aspoň od 4 z nich v každom čase.

Satelity sa pohybujú rýchlosťou viac než 13000 km/h, čo sa taktiež líši na základe výšky orbity. Ich systémy sú napájané solárnou energiou a pri zlyhaní majú záložné batérie. Systémy sú vybudované tak, aby pracovali niekoľko rokov. Obsahujú tiež malé raketové motory na korekciu ich obežných dráh. Každý satelit obsahuje aspoň tri vysoko presné atómové hodiny.[1]

3.1.1 Keplerove zákony

Johann Kepler počas života stanovil tri základné výrazy ktoré charakterizujú pohyb planét. Tieto pravidlá však platia aj pre pohyb telies okolo Zeme alebo akéhokoľvek telesa obiehajúceho okolo iného telesa.

- Prvý Keplerov zákon - pohyb satelitu okolo Zeme má tvar elipsy, pričom Zem leží v jednom z ohnísk elipsy. Tvar elipsy je charakterizovaný dĺžkou hlavnej poloosi a excentricitou.
- Druhý Keplerov zákon - plochy vymedzené sprievodičmi satelitov sú za jednotku času rovnaké



Obr. 2 Grafické vyjadrenie Druhého Keplerovho zákona [31]

- Tretí Keplerov zákon - pomer kvadrátov obežných dôb dvoch družíc sa rovná pomeru tretích mocnín ich stredných vzdialeností od Zeme.[7]

3.1.2 Parametre obežných dráh

Pre výpočet vlastnej polohy musí užívateľské zariadenie s dostatočnou presnosťou poznať parametre pohybu satelitov po obežných dráhach. Tieto informácie poskytuje užívateľskému zariadeniu navigačná správa, ktorú vysiela paralelne so svojimi identifikačnými a meracími signálmi.

Parametre obežných dráh:

- veľká polos elipsy (a)
- malá polos elipsy (b)
- doba obehu (T) - z určitého bodu do toho istého bodu
- argument perigea (ω) - leží v rovine obežnej dráhy a označuje hodnotu vychýlenia priamky apsid z rovníkovej roviny Zeme, dosahuje hodnoty od 0° až do 360° .
- inklinácia (i) - uhol, o ktorý je rovina obežnej dráhy vychýlená z rovníkovej roviny, dosahuje hodnoty od 0° až do 180° .
- rektascenzia (Ω) - uhol, v rovníkovej rovine meraný od spojnice stredov Slnka a Zeme v čase jarnej rovnodennosti

Priamka apsid - spojnice apogea(bod na obežnej dráhe ležiaci najďalej od Zeme) a perigea(bod na obežnej dráhe ležiaci najbližšie k Zemi).

U GNSS je žiadúce, aby obežné dráhy satelitov boli podľa možnosti kruhové a tvorili takmer presné veľké kružnice tj. orbity. [10]

3.1.3 GPS

Plne prevádzkyschopný systém GPS obsahuje 31 alebo viac aktívnych satelitov pravidelne rozmiestnených na 6 obežných dráhach so 4 alebo viacerými na jednej. Orbity sú charakterizované inklináciou 55° k rovine rovníka a ich priesečníky orbít s rovníkovou rovinou sú pravidelne rozmiestnené po 60° . [3] Satelity GPS obiehajú v stredných výškach orbít (MEO), vo výške približne 20200 km. [11] Minimálny počet družíc pre fungovanie systému je 24, pričom 21 je navigačných a 3 sú záložné. Obežná doba je 11 hodín a 58 minút, čo je polovica siderického dňa. Systém musí zaručovať, že na ktoromkoľvek mieste na Zemi sú viditeľné minimálne 4 družice a ideálne až 12. Vďaka kruhovým obežným dráham a relatívne veľkej obežnej výške je systém dlhodobo veľmi stabilný a prípadné zmeny obežných dráh sa dobre modelujú, na rozdiel od družíc na nízkych obežných dráhach.

Družice systému sa v nadhlavníku vyskytujú prakticky iba v páse medzi 60° severnej a južnej zemepisnej šírky. Pri pohybe ďalej k pólom sú síce stále dostupné, ale zhoršuje sa ich geometria pri meraní.

Družice po vypustení pracujú takmer nepretržite. V priebehu roka však vyžadujú údržbu céziových hodín alebo korekciu ich obežných dráh, čím sa na niekoľko hodín stanú označenými ako „nezdravé“. [9]

Prehľad generácií družíc stále v službe

Staršie generácie

- Block IIA
 - 8 satelitov v prevádzke
 - signály C/A na frekvencií L1 pre civilných užívateľov a signály P(Y) na frekvencií L1 a L2 pre armádu
 - predpokladaná doba fungovania 7,5 roka
 - vysielané v rokoch 1990-1997
- Block IIR
 - 12 satelitov v prevádzke
 - C/A na L1 a P(Y) na L1 a L2
 - vstavané monitorovanie času
 - predpokladaná doba fungovania 7,5 roka
 - vysielané v rokoch 1997-2004

Modernizovaná generácia

- Block IIR(M)
 - 7 satelitov v prevádzke
 - spracúva všetky predošlé signály
 - druhý civilný signál na frekvencii L2 (L2C)
 - nový odolnejší kód M pre armádu a možnosť meniť intenzitu signálu pre armádne signály
 - predpokladaná doba fungovania 7,5 roka
 - vysielané v rokoch 2005-2009
- Block IIF
 - 4 satelity v prevádzke
 - všetky predošlé signály
 - tretí civilný signál na frekvencii L5
 - pokročilejšie atómové hodiny a zvýšená presnosť, sila signálu a kvalita
 - predpokladaná doba fungovania 12 rokov
 - vysielané od roku 2010
- GPS III
 - vo vývoji
 - štvrtý civilný signál na frekvencii L1 (L1C)
 - zvýšená spoľahlivosť, presnosť a integrita
 - vylúčenie Selective Availability
 - predpokladaná doba fungovania 15 rokov
 - začiatok vysielania odhadovaný na rok 2015[11]

3.1.4 GLONASS

Momentálne plne obsadená konštelácia ruského systému GLONASS sa skladá z 29 družíc(7.4.2014), ktoré sú pravidelne rozložené v 3 takmer kruhových obežných dráhach vzájomne posunutých o 120° a s inklináciou $64,8^\circ$ k rovníku. Z týchto 29 družíc je pracujúcich 24, ďalšie 3 sú záložné a ostatné sú vo fáze údržby alebo testovania. [12] Výška orbity je 19100km a doba obehu družice je rovná 11 hodinám 15 minútam a 45 sekundám. Osem satelitov je rovnako rozmiestnených v každej dráhe s rozstupom 45° . Navyše družice sú v jednotlivých rovinách posunuté o 15° . [13]

Prehľad blokov družíc

- prototypy - prvé prototypy nazývané Uragan boli vypustené v októbri 1982 a ďalších 18 pokračovalo v rokoch 1982 až 1985. Boli označované ako Block I a mali predpokladanú trvácnosť len 1 rok.
- prvá generácia - prvé ozajstné satelity Glonass boli vypustené v rokoch 1985 až 1990. Patrili sem bloky (Block IIa, IIb, IIv). Jednotlivé bloky mali rozdielne predpoklady trvácnosti od 2 do 4,5 roka. Všetky boli stabilizované v 3 osiach, vybavené raketovými motormi na úpravu obežných dráh. Presnosť časomerného zariadenia bola oproti prototypom zvýšená ako aj stabilita frekvencií.
- druhá generácia - označovaná aj ako GLONASS-M alebo Uragan-M, kde M znamená modernizovaná. Boli vyvíjané od roku 1990 prvá bola vypustená v roku 2003. Majú vyššie predpokladané časy trvácnosti, niečo pod 10 rokov. Bol pridaný druhý civilný signál G2, ktorý umožňuje minimalizovať vplyv ionosférickej refrakcie.
- tretia generácia - sú satelity GLONASS-K. Doba životnosti bola zvýšená na 10 rokov. Tieto satelity po prvýkrát využívajú CDMA signály v spektre L3 (code division multiple access) spolu s predošlými signálmi. Do obehu sa dostali v roku 2011.[14]



Obr. 3 Obežné dráhy GPS [32]



Obr. 4 Obežné dráhy GLONASS [33]

3.1.5 GALILEO

Plánovaný počet družíc kozmického systému GALILEO je 30, z toho 3 sú záložné a nachádzať by sa mali na stredných obežných dráhach (MEO) vo výške 23222 km s dobou obehu 14 hodín a 4 minúty. Orbyty sú charakterizované inklináciou 56° k rovine rovníku a ich priesečníky orbít s rovníkovou rovinou sú pravidelne rozmiestnené po 120° . Každá orbita je obsadená 9 družicami posunutými vzájomne o 40° satelitmi a 1 záložným. Cieľom bolo, aby každý kdekoľvek na svete, bol v dosahu aspoň 4 satelitov. Inklinácia orbít bola zvolená tak, aby zaistovala dobré pokrytie polárnych zemepisných šírok, kde americký GPS zaostáva. Z väčšiny miest na zemi by malo byť 6 až 8 viditeľných umožňujúc tak veľmi presné určenie polohy (do niekoľko centimetrov). ESA vypustila prvé 4 operujúce satelity 21. októbra 2011 a

12. oktobra 2012 pričom 2 boli umiestnené do jednej orbity a ďalšie 2 do druhej. Tieto satelity spolu s riadiacim segmentom potvrdili funkčnosť systému.[15]

Maximálny počet viditeľných družíc je 13/11/9 pri rešpektovaní tzv. mask angle $5^{\circ}/10^{\circ}/15^{\circ}$. Mask angle je uhol nad horizontálnou rovinou pod ktorým prijímače GNSS neprijímajú signály, pretože ich kvalita je znížená pri prechode hrubou časťou atmosféry. Satelity majú predpokladanú dobu trvácnosti 20 rokov.[8]

3.1.6 COMPASS

COMPASS alebo aj BeiDou Navigation Satellite System je v štádiu vývoja a mal by sa skladať z 5 geostacionárnych satelitov nachádzajúcich sa vo výške 35786 km a 30 satelitov s orbitálnou dráhou v stredných obežných dráhach vo výške 21150 km, ktoré sú rozdelené do 6 orbít s inklináciou k rovníku 55° a dobou obehu 12 hodín a 37 minút.

Prvý satelit tohto systému, Compass-M1 bol vypustený 14. apríla 2007 a druhý 15. apríla 2009. Predpoklad dokončenia systému je v roku 2020.[1]

3.2 Riadiaci segment

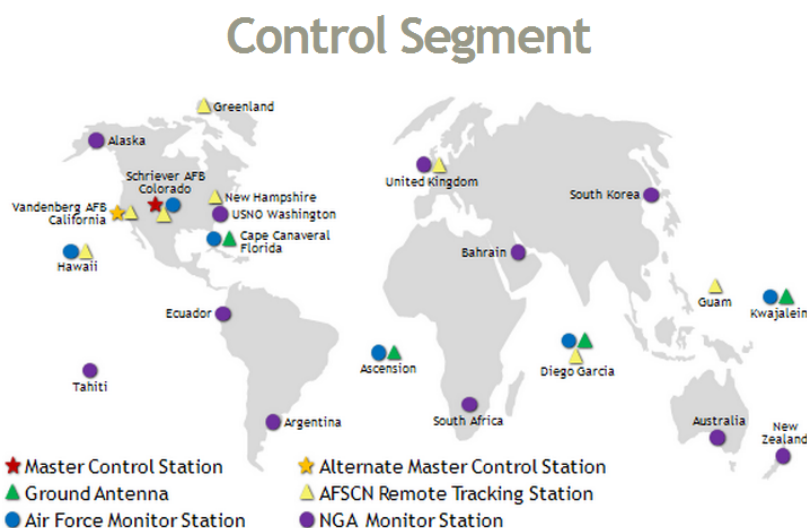
Účel riadiaceho alebo pozemného segmentu priamo vychádza z jeho názvu. Podstatou je spravovanie kozmického segmentu a komunikácia s ním.

3.2.1 GPS

Riadiaci segment systému GPS sa skladá zo 4 hlavných podsystémov: hlavnej riadiacej stanice, náhradnej riadiacej stanice, sieť 4 pozemných antén a sieť globálne rozložených monitorovacích staníc. Hlavná riadiaca stanica sa nachádza v Schriever Air Force Base, Colorado, USA a je centrálnym uzlom pre konšteláciu GPS. Činnosť je vykonávaná 24 hodín denne, sedem dní v týždni. Hlavná riadiaca stanica zodpovedá za všetky aspekty riadenia konštelácií družíc zahrňujúc činnosti ako:

- rutinná komunikácia so satelitmi
- údržba satelitov a riešenie anomálií
- riadenie signálov SPS a PPS
- nahratie alebo aktualizovanie navigačnej správy na udržanie presnosti a integrity
- detekovanie a riešenie výpadkov GPS signálu

V septembri 2007 riadiaci segment prešiel GPS veľkou modernizáciou do súčasnej podoby.[13]



Obr. 5 Umiestnenie riadiaceho segmentu GPS po svete [34]

3.2.2 GLONASS

Pozemný riadiaci komplex je situovaný na území Ruska. Hlavné riadiace centrum sa nachádza blízko Moskvy, ostatné riadiace a monitorovacie stanice sú umiestnené v Ternopole, St. Petersburgu, Jenisejsku, Komsomolsku na Amure a Balkaši. Tieto stanice neustále monitorujú signály všetkých viditeľných družíc, prevádzajú laserové merania vzdialeností medzi stanicami a družicami, ktoré sú vybavené laserovými odrazákmi, a získané dáta sú prenášané do hlavného riadiaceho centra. Tu sa tieto dáta spracúvajú, vyhodnocujú sa presné parametre obežných dráh družíc, korekcie družicových hodín a aktualizujú sa navigačné správy. Výsledky sa prenášajú na stanicu pre komunikáciu s družicami, odkiaľ sú 2x denne odosielané družiciam.

Nevýhodou riadiaceho segmentu GLONASS je, že každá družica je mimo dosah kontrolného a riadiaceho segmentu po dobu cca 16 hodín, čím je znížená schopnosť monitorovania a tým aj presnosť určovania efemeríd, preto sa u budúcich generácií predpokladá možnosť vzájomnej komunikácie medzi družicami. [9]



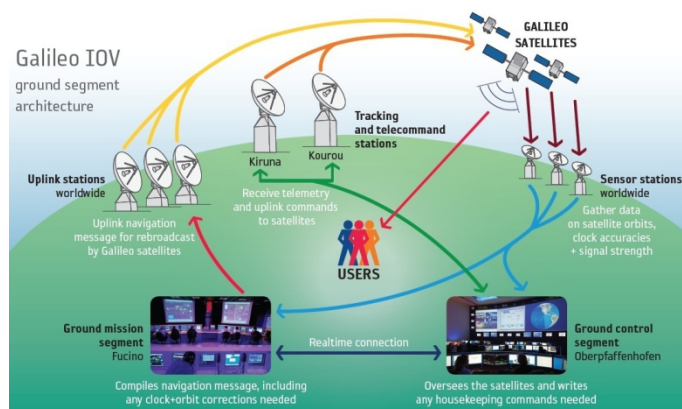
Obr. 6 Umiestnenie riadiaceho segmentu GLONASS [35]

3.2.3 GALILEO

Riadiaci segment systému GALILEO sa bude skladať z 2 riadiacich staníc nachádzajúcich sa v talianskom meste Fucino a nemeckom meste Oberpfaffenhofen, a z globálnej siete vysielacích a prijímacích staníc. Každá riadiaca stanica bude mať za úlohu ovládanie 2 systémov a to je Galileo Control System (GCS), ktorý má na starosti vnútorné obvody družice a ich konšteláciu, a Galileo Mission System (GMS), ktorého úlohou je riadenie navigačného systému.

GCS má zodpovednosť za správnosť konštelácie a všeobecné riadenie družíc. Má diaľkomernú funkciu, vydáva príkazy a riadi družice za pomoci riadiacej stanice a 5 globálne rozmiestnených staníc, kontrolujúcich vzdialenosť (Telemetry Tracking and Control (TT&C) stations).

GMS zodpovedá za zhodnotenie a vysielanie navigačných údajov a údajov integrity potrebných na zaistenie prenosu navigačných správ a času UTC užívateľom. Na tento účel využíva tzv. Galileo Sensor Stations (GSS), ktoré monitorujú signály družíc. Výpočty prevádzkané GMS sú odosielané cca každých 100 minút satelitom pomocou tzv. Mission Up-link Station.[16]



Obr. 7 Štruktúra riadiaceho segmentu Galileo [36]

3.2.4 COMPASS

Compass Navigation Satellite System je momentálne vo fáze vývoja z regionálneho systému BeiDou 1. Riadiaci segment sa rozširuje spolu s vývojom systému. Riadiaci segment sa skladá z hlavnej riadiacej stanice zodpovedajúcej za konšteláciu družíc a spravuje merania získané monitorovacími stanicami na vytvorenie navigačnej správy. Ďalej je to tzv. Upload station zodpovedná za odosielanie korekcií orbít a navigačných správ družiciam. Ako posledné sú tu monitorovacie stanice, ktoré získavajú informácie z družíc na ďalšie spracovanie. Momentálne systém zahŕňa 1 hlavnú riadiacu stanicu, 2 Upload stations a 30 monitorovacích staníc.[17]

Je nutné sa zmieniť, že informácie pre verejnosť ohľadne systému COMPASS, ktorý je vo fáze vývoja, patria k tým strohejším.

3.3 Uživatelský segment

Poskytuje uživateli informaci o okamžité 3D poloze fázového středu antény v dané soustavě souřadnic, o okamžité rychlosti a přesném čase. Z družic, momentálně se vyskytujících na obloze, vybírá nejvhodnější pro použití kvůli snižování DOP a měří čas příchodu signálu na anténu přijímače. V letecké oblasti se využívají viackanálové přijímače (v dnešní době 12-24 kanálové) pro sledování více družic současně. Uživatelské zařízení může být charakterizované i jako sériové zapojení 4 obvodů – anténa, přijímač, navigační počítač a displej.

Uživatelské zařízení měří jednotlivé vzdálenosti k družicím pasívnou metodou (na rozdíl např. od AWR nebo DME, kde je vysílač a přijímač na jednom stanovišti a proto je možné zaznamenat čas vyslání signálu a čas příjmu signálu), tzn. že přijímač neví přesný čas vyslání signálu, a proto je potřebné, aby byl signál družice synchronizovaný s signálem přijímače vyvolaného z paměti, a je nutný příjem navigační správy viz 3.4.1 navigační správa GPS.

Synchronizace signálu

Pasívná metoda měření u GNSS je charakterizovaná podmínkami :

- práce systému v jednotném čase (systémový čas)
- družice vysílají svůj identifikační a měřicí signál (Pseudo-Random Noise PRN viz. kap. 3.4.1)
- v navigační správě je uvedený čas vyslání signálu

Při porovnávání PRN družice a signálu vyvolaného z paměti přijímače, který je rovnaký jako signál družice a specifický pro každou z nich, musí dojít k přesné koincidenci signálů, tedy signály vzájemně ne jsou časově posunuté. Signál vyvolaný v paměti se posouvá v čase, pokud se nedosáhne shodná "poloha" oboj signálů. Dosiahnutie presnej koincidencie signálů sa dosahuje generovaním napätia pri nedokonalom prekrytí signálů. Toto napätie usmerní vyvolaný signál do správnej polohy.

Ďalším problémom, ktorý by mohol nastať, by bolo, keby nebol kompenzovaný časový rozdiel počiatkov cyklov medzi signálmi družice a cyklov kópií. Rozdiel je v tom, že u družíc sú zdrojom časových signálů atómové hodiny, ktorých presnosť je asi miliónkrát vyššia než u riadiaceho oscilátora prijímača. Preto nie je možné zaradiť aby tieto oscilátory pracovali synchronne. Časový zdroj prijímača preto zahájuje cyklus inokedy než časový zdroj družice a navyše sa tento rozdiel v čase mení vplyvom nízkej stability oscilátora.

Riešením je aby si každý prijímač meral svoj časový rozdiel t_0 a tento rozdiel vylúčil. Prijímač reálne meria dobu t_{mi} , čo nie je skutočná hodnota času. Reálna hodnota trvania príchodu signálu je rovná súčtu týchto časov.

$$t_{Ri} = t_{mi} + t_0 \quad (3.1)$$

$$R_i = c * (t_{mi} + t_0) \quad (3.2)$$

Z toho vyplýva že v rovniciach na výpočet skutočnej vzdialenosti viz. rovnica (2.1) sú 4 neznáme a to x , y , z , t_0 . Preto na určenie 3D polohy užívateľa sú nutné aspoň 4 družice. [10]

3.4 Vlastnosti signálov a navigačná správa

Komunikácia medzi družicou a prijímačom sa uskutočňuje pomocou prenosu elektromagnetických signálov o určitých frekvenciách.

3.4.1 Signály družíc GPS

Systém GPS poskytuje dve služby presnosti a to je SPS (Standard positioning service) a PPS (Precision positioning service).

Služba SPS je charakterizovaná vysielaním tzv. C/A kódu (Coarse/Acquisition), čo je akoby pseudonáhodná postupnosť 1023 núl a jedničiek. Pseudonáhodná preto, lebo svojím charakterom pripomína šum tzv. PRN kód (Pseudo Random Noise), pričom je ale presne definovaný a každá družica ho má špecifický kvôli jej identifikácii, tzn. že systém pracuje na princípe CDMA (Code division multiple access) teda rozlíšenie družíc na základe PRN kódu. C/A kód má frekvenciu 1,023 MHz k čomu pripadá dĺžka bitu 1 mikrosekunda a dĺžka celého kódu 1 milisekunda. C/A kód je namodulovaný na nosnú frekvenciu 1575,42 MHz (kanál L1).

Služba PPS je charakterizovaná vysielaním P kódu (Precision). Tiež sa jedná o tzv. PRN kód, rozdiel je v tom, že jeho celková dĺžka je až 266 dní z dôvodu vylúčenia možného rozkódovania nepriateľom, navyše býva dodatočne a dočasne kódovaný impulznou postupnosťou, ktorá sa mení každý týždeň a tým vzniká P(Y) kód. P kód je vysielaný na frekvencii 10.23 MHz , z čoho vyplýva dĺžka bitu asi 0,1 mikrosekundy. Služba PPS pracuje na dvoch nosných kmitočtoch a to kanále L1 a na kanále L2 1227,6 MHz.[9]

Nový vojenský kód M sa taktiež vysiela na oboch nosných L1 a L2, jeho výhody sú v tom, že už nepotrebuje L1 C/A kód, ktorý predtým využívali PPS prijímače na hrubé zameranie polohy. Ďalej je charakteristický značným zvýšením presnosti a redukciou nepresnosti viaccestného šírenia.[3]

V dnešnej dobe sa už začínajú pomaly dostávať do obehu aj nové typy signálov. Signál L2C je nový druhý civilný (komerčný) signál. Pri kombinácii s L1 C/A a použitím dvojkmítočtového prijímača umožňuje ionosferické korekcie na zvýšenie presnosti, čím sa dosiahne presnosti zrovnateľnej s PPS. Zároveň sa znižuje čas prvotného zamerania a je zvýšená spoľahlivosť.

Tretí civilný signál L5 je zostrojený na splnenie požiadaviek bezpečnosti života pri doprave. Vysiela na frekvencii 1176,45 MHz. Bol vytvorený špecificky pre letecké služby bezpečnosti. Pri kombinácii s L1 C/A významne zvyšuje presnosť a množstvo prístupného signálu.

Štvrtý civilný signál L1C je vytvorený na umožnenie spolupráce s GPS a ostatnými medzinárodnými satelitnými navigačnými systémami. Využíva frekvenciu L1 1575,42 MHz. Cieľom bolo vytvoriť spoločný signál pre GPS a Galileo, ale zdá sa, že aj ostatní poskytovatelia družicových navigačných systémov ako Čína alebo regionálne systémy Indie a Japonska si začali osvojovať signál L1C, čím sa zaistí možnosť spolupráce.[18]

Navigation management GPS

Aby bola možná funkcia užívateľského zariadenia a následné určenie polohy je nutné, aby družice okrem svojho PRN kódu vysielali aj špecifickú súčasť tzv. Navigačnú správu (Navigation message). Jej význam spočíva v tom, že obsahuje všetky potrebné informácie o presnej polohe družíc, ich obežných dráhach, stave a použiteľnosti, udáva presný systémový čas. Táto správa je namodulovaná na PRN družice s frekvenciou 50Hz. To znamená že rýchlosť prenosu je 50bitov za sekundu. Užívateľské zariadenie túto správu spracováva a na základe nej pre seba vyhodnocuje potrebné informácie ohľadne družíc.

Navigačná správa obsahuje 25 rámcov, z toho každý má 1500 bitov, z toho vyplýva, že odvysielanie jedného trvá 30 sekúnd, tzn. že prenos celej správy trvá až 12,5 minúty. Každý rámec sa ďalej delí na 5 podrámcov pričom každý má dĺžku 300 bitov.

- Podrámcy 1, 2 a 3 sú charakteristické tým, že sa opakujú vo všetkých rámcoch pre daný satelit po dobu 2 hodín (pokým nie sú odoslané nové dáta).
 - Podrámc 1 obsahuje systémový čas GPS, stav družice (HEALTH), úroveň presnosti, korekcie časových údajov
 - 2 a 3 podrámc obsahujú precízne informácie o parametroch orbity poprípade jej zmenách vplyvom perturbácií (efemeridy).
- Podrámcy 4 a 5 sú špecifické tým, že ich dáta v jednotlivých rámcoch sa líšia, tzn. že pokým prijímač získa všetky informácie z týchto dvoch podrámcov, musí prijať všetkých 25 rámcov čo je 12,5 minúty. Nesú informácie o almanachu, stave družíc a informácie o nastavení.[19]

Perturbácie sú zmeny orbity vplyvom vonkajších síl napr. nehomogenity gravitačného poľa, slnečný vietor.

3.4.2 Signály družíc GLONASS

GLONASS je špecifický tým, že využíva viacero frekvencií v pásme L tzn. jedná sa o FDMA signály (Frequency Division Multiple Access), čo znamená, že frekvencie jednotlivých družíc sa líšia a tým sú vzájomne rozlíšené. GLONASS využíva dve základné frekvencie a zvyšok je následne definovaný takto.

$$f_{01} = 1602 \text{ MHz} ; \Delta f_1 = 562,5 \text{ kHz}$$

$$f_{02} = 1246 \text{ MHz} ; \Delta f_2 = 437,5 \text{ kHz}$$

$$K = \text{číslo kanálu} = (-7 \leq K \leq +6)$$

$$f_{K1} = f_{01} + K\Delta f_1 \quad (3.3)$$

$$f_{K2} = f_{02} + K\Delta f_2 \quad (3.4)$$

Systém poskytuje 2 druhy služieb a to je SPNS (Standard Precision Navigation Signal), ktorý je obdobou C/A u GPS, skladá sa z pseudonáhodnej postupnosti 511 núl a jedničiek vysielaných na frekvencii 0,511 MHz teda sekvencia sa opakuje každú milisekundu.

Druhá služba poskytuje tzv. HPNS (High Precision Navigation Signal) ,ktorý je značne dlhší než SPNS, vysielá sa na frekvencii 5,11MHz a sekvencia sa opakuje každú sekundu.

Nová generácia satelitov GLONASS-K ,do ktorých je vložené veľké úsilie o zmodernizovanie systému GLONASS vysielá, na rozdiel od starších typov CDMA, formát v pásme L3(testovacie spektrum) na nosnej 1207,14 MHz. Nevýhoda FDMA spočíva v blízkosti frekvencií a ešte ďalšej následnej zmene Dopplerovým javom pri pohybe družíc. Pri príchode viacerých frekvencií na anténu prijímača tak vznikajú nepresnosti. Navyše FDMA vyžaduje širšie frekvenčné spektrum. Pri vývoji druhej generácie GLONASS-K sa uvažuje už aj s použitím frekvenčných spektier L1, L2 a L5, čo by znamenalo možnosť spolupráce s inými systémami bez väčších zásahov do úpravy prijímačov.[20]

Navigačná správa GLONASS

Navigačná správa GLONASS má dĺžku 7500 bitov a je modulovaná frekvenciou 50 Hz, to znamená, že jej odvysielanie trvá 2,5 minúty. Je delená na 5 rámcov a tie sú ďalej delené na 15 podrámčov o 100 bitoch. Prenášané sú informácie o efemeridách, korekcii času, almanach jednotlivých družíc a ich kanály.[3]

Pre nové signály CDMA je vyvíjaná nový typ správy s meniteľnou štruktúrou.[21]

3.4.3 Signály družíc GALILEO

Galileo bude vysielat' signály na štyroch frekvenčných pásmach :

- pásmo E1 so stredom v 1575,42 MHz podobne ako GPS L1. Je zložené z dvoch signálov, ktoré môžu byť použité samostatne alebo v kombinácii s inými frekvenčnými pásmami v závislosti na požiadavkách. Sú poskytované dve služby ,a to služba verejne prístupná a neverejná služba. V službe prístupnej verejnosti je navyše zahrnutá správa o integrite týkajúca sa safety-of-life (SoL).
- pásmo E6 so stredom v 1278,75 MHz poskytuje komerčnú službu a neverejnú službu.
- pásmo E5 je charakterizované dvoma frekvenčnými postrannými zväzkami a to E5a so stredom 1176,45 MHz, ktorý poskytuje druhý civilný signál a službu safety-of-life.

Druhý signál E5b má střed na 1207,14 MHz ,poskytuje informace o integritě a službu safety-of-life.[13]

Navigační správa

Navigační správa GALILEO obsahuje 5 typů dat v 4 typech navigačních správ a to sú: Freely accessible Navigation Message (F/NAV), Integrity Navigation Message (I/NAV), Commercial Navigation Message (C/NAV), Governmental Navigation Message (G/NAV). Systém poskytuje tři druhy služeb a to Open Service(OS), Commercial service(CS), Public Regulated Service(PRS) a Safety-of-Life Service(SoL). Každá navigační správa vysílá specifické data vyžadované pro funkci dané služby.

Message Type Galileo Services	F/NAV OS	I/NAV OS/CS/SoL		C/NAV CS	G/NAV PRS	
Channels	E5a-I	E1B	E5b-I	E6B	E1A	E6A
Data Rate (bps)	25	125		500	50	
Navigation/Positioning	×	×	×			×
Integrity		×	×			×
Supplementary				×		
Public Regulated						×
Search and Rescue		×				

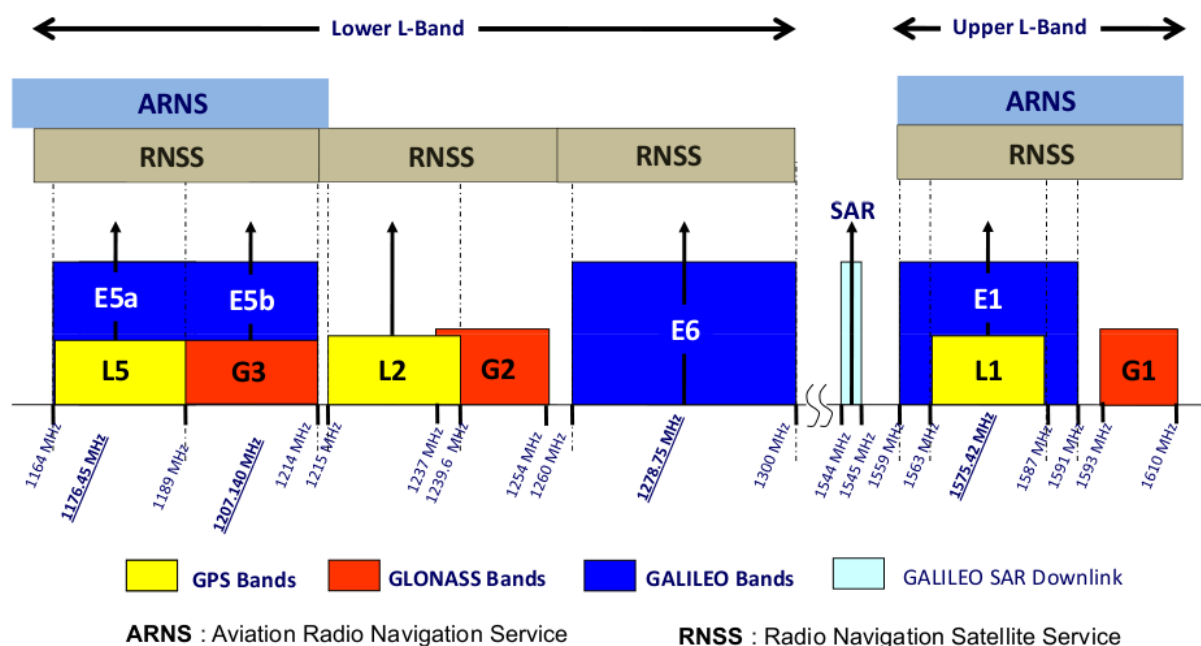
Obr. 8 Štruktúra navigačnej správy Galileo [37]

- Data integrity poskytujú výstrahu a parametre na určenie rizika podporujúc využitie SoL.
- Doplnkové data majú za úlohu poskytovať informácie komerčnej službe ako napríklad diferenčné korekcie DGNSS, výstrahy poveternostného alebo prevádzkového charakteru.
- Neverejné data sú pod správou vlády.
- Data SAR (Search and Rescue) poskytujú možnosť odoslania potvrdzujúcej SAR správy na maják s príslušným prijímačom Galileo.

Štruktúry jednotlivých navigačných správ sa odlišujú a nemá význam túto problematiku ďalej rozvádzať.[22]

3.4.4 Signály družíc COMPASS

Systém je stále vo fáze vývoja, ale predpokladom je, že satelity budú vysílať signály v 3 frekvenčných spektrách s nosnými frekvenciami B1 1575,42 MHz, B2 1191,795 MHz, B3 1268,52 MHz. Pre voľne prístupnú službu by mal slúžiť kanál B1 a B2 a pre neverejné služby B1 aj B3.[13]



Obr. 9 Rozloženie frekvenčných spektier GNSS [38]

3.4.5 Možnosti spolupráce systémov

Každý systém, ktorý je buď už v prevádzke alebo je ešte vo fáze vývoja, bol vytvorený s úmyslom možnosti pracovať samostatne. Ak však zoberieme do úvahy fakt, že štáty, ktoré sú vlastníelmi jednotlivých systémov nie sú vo vzájomnej nezhode, je možnosť spolupráce, ak je to technicky uskutočniteľné, napr. využitie rovnakých nosných kmitočtov, referenčných systémov a systémového času. I keď väčšina zo spomínaných podmienok často nie je dodržaná, mierne úpravy a korekcie tieto problémy vyriešia. V dnešnej dobe sa už budujú prijímače, ktoré sú schopné prijímať signály od GPS aj GLONASS, ktorý využíva FDMA a dokonca už aj GALILEO, aj keď systém zďaleka nemá kompletnú konšteláciu družíc. Táto spolupráca, v angličtine interoperability, je definovaná ako „Interoperability refers to the ability of the open services of multiple satellite navigation systems to be used together to provide better capabilities at the user level than would be achieved by relying solely on one service, without significantly increasing the complexity of receivers.“[13] Teda je to schopnosť využívať signály verejnej služby od viacerých systémov naraz, pričom takto poskytujú lepšie výsledky, ako by bolo dosiahnuté pri použití jedného systému a nedôjde k prílišnému zvýšeniu zložitosti prijímača.

4. Účel a predpokladaný rozvoj

V dnešnej dobe začína mať GNSS tak široké uplatnenie, že nie je účelné všetko rozoberať. Je vhodné aspoň vymenovanie oblastí použitia a to:

- navigácia (automobily, letecká doprava, lodná doprava, poľnohospodárstvo, ťažobné stroje, šport, kozmické objekty)
- vymeriavanie a mapovanie (pri stavbách, geológia, archeológia)
- ostatné (poskytovanie presného času, satelitná komunikácia, informácie pre záchranné zložky)[5]

V tejto práci bude pojednávané o využití a možnostiach v leteckej doprave.

Rozvoj systémov:

- GPS – systém GPS momentálne dostáva do obehu družice Bloku IIF viz.kap. 3.1.3, ktorých je na obežnej dráhe zatiaľ 5 a do leta 2014 sú predpokladané ďalšie 2 štarty. Tieto družice disponujú vysielaním tretieho civilného signálu L5. Hlavným cieľom do budúcnosti je Blok III disponujúci štvrtým civilným signálom L1C a výmena zastaralých blokov družíc. [23]
- GLONASS – systém má v budúcich rokoch veľké ambície o výrazné zlepšenie svojich vlastností. V prvom rade je to novým blokom družíc GLONASS-K, ktorý vysielá popri FDMA L1 a L2 aj CDMA L3 a do budúcnosti blok K2, ktorý bude vysieláť CDMA L1, L2 a L3 + aj FDMA signály. Tento vývoj by mal zaručiť možnosť spolupráce s inými systémami. Zároveň systém dáva do obehu sieť staníc na kontrolu signálu a integrity v spolupráci s 3 geostacionárnymi družicami na princípe DGNS. [24]
- COMPASS – systém je momentálne vo vývoji, z čoho vyplýva, že všetky snahy sú upriamené na uvedenie systému do plnej prevádzkovateľnosti. Momentálne disponuje šiestimi družicami (plná konštelácia bude obsahovať 30MEO + 5GEO). Plnej konštelácie a funkčnosti sa predpokladá do roku 2020.
- GALILEO – systém je taktiež vo vývoji, momentálne bola potvrdená funkčnosť pomocou 2 párov skúšobných družíc. Je plánované vyslanie prvých 2 plne prevádzkyschopných družíc.

Z hľadiska vývoja v spoločnosti sa bez pochyb GNSS dostáva do popredia. V dnešnej dobe je bežné, že takmer každý dopravný prostriedok a mobilné zariadenie je vybavené GNSS prijímačom. Spoločnosť si na tento fakt tak zvykla, že prípadné odstavenie systému GPS by postihlo obrovské množstvo užívateľov a mohlo by viesť aj k rizikovým situáciám, toto bol jeden z dôvodov vývoja systému Galileo, ktorého účel je smerovaný priamo pre spoločnosť.

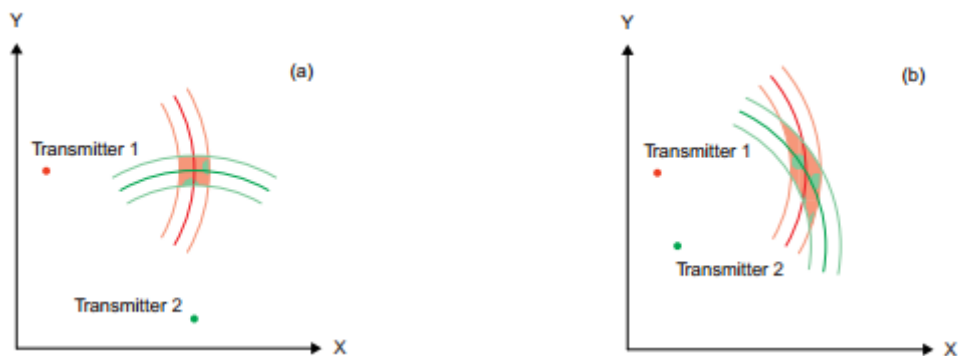
5. Presnosť a chyby systému

Každý systém je vždy zaťažený chybami, ktoré nie je nikdy možné kompletne vylúčiť. Všetky tieto chyby vedú k nepresnému odhadu príslušných pseudovzdialeností a času t_{mi} viz.kap. 3.3. Pre naše pochopenie sa tieto chyby môžu deliť podľa toho, kde majú svoj pôvod.

- Chyby v synchronizácii môžu mať pôvod u satelitov a aj u prijímačov. Jedná sa o to, že čas vyslania a prijmu signálu nie sú v jednom časovom rámci. Viz. kap. 3.3
- Chyby pri šírení signálu. Poznáme dve a to atmosferické chyby a chyby pri viacestnom šírení. Obe majú svoj pôvod odlišný.
 - Atmosferická chyba a predovšetkým najmä ionosferická, je spôsobená tým že prijímač predpokladá konštantnú rýchlosť šírenia signálu, fakt je ale taký, že pri zmene prostredia počas šírenia (z kozmu do atmosféry) elektromagnetické vlnenie zmenší svoju rýchlosť a tým t_{mi} vzrastie a následne aj určená pseudovzdialenosť. Vylúčenie tejto chyby je možné viacerými možnosťami. Príkladom sú ionosferické korekcie vysielané navigačnými správami, alebo využitie dvojkanálových prijímačov, kde sa porovnáva omeškanie na dvoch kmotočtoch alebo využitím DGNS.
 - Viacestné šírenie je spôsobené odrazom signálu napríklad od zeme a až potom nasleduje príchod na anténu prijímača, čím sa tiež zväčší pseudovzdialenosť.
- Chyby parametrov orbít družíc. Pre každý prijímač je nutné poznať presnú polohu družíc, z čoho následne vyhodnocuje svoju polohu na základe určenia t_{mi} . Problém nastáva v tom, že na obežné dráhy družíc majú vplyvy perturbácie. Na vylúčenie tohto problému slúži riadiaci segment, ktorý aktualizuje navigačnú správu s aktuálnymi korekciami.
- Chyby časového zdroja, korekcie atómových hodín sú tiež uvádzané v navigačnej správe.
- Chyba geometrie družíc. Každá družica vysiela elektromagnetické signály, ktorých tvar šírenia v zjednodušenom poňatí má charakter gule. Ak by sme si situáciu ešte viac zjednodušili a použijeme príklad dvoch družíc v rovine, ktoré vysielať signály s charakterom kružnice vidíme,že pri rôznom vzájomnom umiestnení družíc plocha vytýčená signálmi je rôzna. Z toho vyplýva, najmenšia plocha a teda aj najvyššia presnosť bude v prípade, ak spojnice dvoch družíc budú zvierat' uhol 90°. Geometrické rozmiestnenie družíc v priestore má teda priamy dopad na kvalitu určenia polohy prijímačom. Pri pohybe družíc sa však táto hodnota stále mení a dochádza k tzv. Dilution of Precision (DOP). Z tohto dôvodu vyplýva význam vzájomnej spolupráce jednotlivých systémov a možnosti prijímača ich signály spracovať. Pri veľkom počte dostupných družíc na oblohe si prijímač môže voľiť najvhodnejšie a zaručovať tak presnejšie výsledky merania. DOP je bezrozmerné číslo predstavujúci násobok chyby a je súhrnnou hodnotou jednotlivých chýb a to :
 - TDOP(Time) – chyba polohy vplyvom merania času
 - HDOP(Horizontal) – chyba merania polohy v horizontálnej rovine
 - VDOP(Vertical) – chyba merania polohy vo vertikálnej rovine
 - GDOP(Geometric) – zahrňuje chybu TDOP, HDOP a VDOP

➤ PDOP(Position) – zahrňuje chybu HDOP a VDOP

Vplyvom pohybu užívateľa do vyšších zemepisných šírok sa hodnota HDOP mení len málo, horšie je na tom VDOP, kde po prekročení zemepisnej šírky rovnej inklinácii konštelácie chyba výrazne narastá.[1]



Obr.10 Princíp zvyšovania PDOP vplyvom polohy družíc [39]

6. Zhodnotenie jednotlivých systémov

6.1 Kozmický segment

V tejto kapitole sme sa zoznámili so základnou podstatou kozmického segmentu a rozdielu medzi jednotlivými systémami. Základnou stavebnou jednotkou kozmického segmentu je družica. Družica GNSS je veľmi komplexné zariadenie vysielajúce elektromagnetické signály k používateľom. Ich hnacím motorom sú atómové hodiny charakteristické veľmi vysokou presnosťou a stabilitou, ktoré sú generátorom signálov.

Pri pojednávaní o jednotlivých blokoch družíc GLONASS a GPS boli síce spomenuté rozdiely medzi jednotlivými generáciami družíc, ale čo sa týka ich konkrétneho technického vybavenia nemá význam sa týmito informáciami z hľadiska zložitosti konštrukcie a cieľov práce zaoberať. Pozornosť by som zameral na signály a služby, ktoré sú poskytované a vysielané družicami a na konšteláciu družíc jednotlivých systémov.

Počet družíc na obežnej dráhe vychádza zo základnej podmienky pre 3D určenie polohy, to znamená aspoň 4 viditeľné družice v každom čase. Z toho vyplýva minimálny počet družíc na systém 21. Z toho sa odvíjala prvotná konfigurácia systémov GPS aj GLONASS, ktoré využívali 21 aktívne pracujúcich družíc a 3 záložné. Je nutné podotknúť, že systém GLONASS bol dlho charakterizovaný ako čiastočne prevádzkyschopný, pretože počet aktívnych družíc bol pod 21. Porozumenie faktu, že väčší počet družíc znižuje hodnotu DOP viedol k postupnej snahe zvyšovať ich množstvo, preto pri vývoji systémov Galileo a Compass sa už predpokladalo s väčším počtom a zároveň aj so spolupracou s geostacionárnymi družicami. Počet orbitálnych dráh nemá žiadny zásadný vplyv na parametre systému, využíva sa 3 a 6 dráh. Výška obežných dráh priamo vplýva na čas obehu, z toho vyplýva že pri zvyšovaní obežnej dráhy sa pri určitej hodnote dosiahne, že družica sa stane geostacionárnou. Najlogickejšiu časovú informáciu poskytuje systém GPS, kde čas obehu je rovný polovici siderického dňa, preto užívateľ môže predpokladať, že každá družica bude v ten istý čas dňa na tom istom mieste. Výška priamo vplýva aj na plochu, na ktorej je dostupný signál z jednej družice, väčšinou sa uvádza 1/3 zemského povrchu. Pri takejto úvahe môžeme povedať, že ak by bola družica v nekonečne a nebol by rešpektovaný Mask angle, jedna družica by dokázala pokryť až polovicu plochy Zeme. I keď sú systémy charakterizované ako globálne uhol inklinácie má vplyv na vertikálne určovanie polohy a jej presnosť v jednotlivých oblastiach Zeme. Najvyššia presnosť je dosahovaná v oblastiach, kde družice kulminujú čo je zároveň posledné miesto, kde sa družica môže nachádzať v zenite. Pri ďalšom presune užívateľa do vyšších zemepisných šírok presnosť určenia polohy klesá z dôvodu zvýšenia hodnoty DOP. Preto hodnota inklinácie je vždy vyššia než hodnota zemepisnej šírky záujmového priestoru. Z toho môžeme konštatovať, že suverénny štát, pod ktorý spadá riadenie systému si určí inklináciu tak, aby splňovala ich záujmy ale zároveň je zachovaný globálny charakter.

6.2 Riadiaci segment

Riadiaci segment je charakterizovaný kontrolou signálu a polôh družíc, ktoré určuje na základe známej polohy pozemných staníc. Informácie sú ďalej posúvané, informácie aktualizované a odosielané družiciam. Z uvedených informácií v tejto kapitole môžeme posúdiť, že základný princíp riadiaceho segmentu sa u jednotlivých systémov nemení i keď štruktúra riadiaceho segmentu sa môže líšiť.

Hlavný a významný rozdiel u jednotlivých systémov je rozmiestnenie riadiaceho segmentu. Ak porovnáme napríklad systém GPS, ktorý má globálnu sieť monitorovacích staníc, so systémom GLONASS, ktorý má stanice rozmiestnené na území Ruska a Kazachstanu. Z toho vyplýva, že u systému GLONASS dochádza k tomu, že až na 16 hodín nie je dosiahnutá komunikácia s družicami, preto je veľká snaha o modernizáciu, kde nová generácia družíc má byť schopná vzájomnej komunikácie medzi sebou, čím by sa dosiahlo globálne pokrytie. U systému Galileo sa predpokladá globálne rozmiestnenie staníc. Systém Compass momentálne vlastní stanice iba na území Číny, do budúcnosti sa ale očakáva nielen lokálne rozmiestnenie.

Treba poznamenať, že každý zo segmentov je rovnako dôležitý. Kvalitnejšie meranie odchýlok a frekventované odosielenie korekcií zlepšujú vlastnosti systému.

6.3 Signály a služby:

Signály používané GNSS sa pohybujú v spektre UHF. Nosné kmitočty a použitie daného spektra si určuje daný poskytovateľ systému, i keď sa dá povedať, že začína byť snahou využitie rovnakých nosných kmitočtov pre určité účely, napríklad spektrum L5 pre oblasť letectva. Vo všeobecnosti každá frekvencia je priradená určitej službe, ktorá je určená špecifickému užívateľovi.

Identifikácia družíc a ich signálov môže prebiehať dvoma spôsobmi. Staršie družice GLONASS využívali FDMA riešenie, kde má každá družica rozdielnu frekvenciu, pretože boli považované za odolnejšie voči rušeniu, čo ale v dnešnej dobe neplatí keďže existujú širokospektrálne rušičky. Preto pre nové družice GLONASS-K je plánované CDMA riešenie, pri zachovaní FDMA. Takto sa dosiahne akejsi jednotnosti a možnosti lepšej spolupráce jednotlivých systémov.

7. GNSS a letecká doprava

Vývoj globálních družicových navigačních systémů zasáhl charakter letecké dopravy ve velké míře. Stále více se rozšiřuje použití při VFR letech, kde se jedná většinou o športové a soukromé lety. My se zaměříme na leteckou dopravu a předpokládáme, že se jedná o IFR lety.

V minulosti se IFR lety uskutočňovali způsobem "od majáku k majáku", to znamená podmínkou byl přelet ponad rádionavigační zařízení. Takýto způsob byl nepříznivý z víceřích hledísk. Postupným vývojem se přešlo k tzv. metodě RNAV (Area navigation/Random navigation), která je charakteristická tím, že umožňuje letadlu převádzku na ľubovoľnej letovej ceste v dosahu pozemných alebo kozmických navigačných prostriedkov a systémů, alebo v rozmedzí použiteľnosti palubných navigačných prostriedkov a systémů alebo ich kombináciou. Takýto prechod mal za následok veľa pozitívnych zmien ako:

- zníženie rozstupů medzi lietadlami.
- voľba priamych tratí čo má za následok skrátenie trate a teda šetrenie paliva a času.
- tvorba paralelných tratí a tým zvýšenie hustoty prevádzky a efektívnejšie využitie vzdušného priestoru.
- vyhýbanie sa oblastiam TMA pomocou vhodných obletových tratí.
- vyčkávacie priestory nemusia byť len priamo nad pozemnými rádionavigačnými zariadeniami.

Podstatou vzniku metódy RNAV je zvýšenie kapacity vzdušného priestoru pri zachovaní alebo zvýšení úrovne bezpečnosti. Pri aplikovaní metódy RNAV informácie pre vedenie lietadla pochádzajú z viacerých zdrojů a presnosť určenia polohy závisí na vstupných informáciách. Ako vstupy sa využívajú VOR/DME, DME/DME, ILS/MLS, GNSS, INS/IRS, ADC a čas. Je teda zrejmé že GNSS si našlo svoje miesto v RNAV, treba ale poznamenať že tieto informácie zatiaľ vychádzajú len so systému GPS, ktorému vo veľkej miere dopomáhajú geostacionárne systémy a augmentácie, bez ktorých by nebola zaručená potrebná miera kvalitatívnych vlastností systému viz. kap. 2.1.[10]

Je teda jasné, že hlavnou úlohou GNSS v leteckej doprave je určovanie polohy. Jeho výhody sú očividné najmä tam, kde je lietadlo mimo pozemných rádionavigačných staníc, ktoré sú obmedzené dosahom a väčšinou podmienené priamou rádiovou viditeľnosťou a teda dosahom do niekoľkých kilometrov. Globálny charakter systému GNSS tu prichádza vhod a spolu s INS/IRS dokážu zabezpečiť vedenie lietadla po trati, pokiaľ nie je obnovené spojenie s PRZ. V lokalitách s hustou prevádzkou sú umiestnené už spomínané pozemné augmentačné stanice a družice pokrývajúce danú oblasť. Je vhodné aspoň v krátkosti spomenúť tieto systémy a ich veľký prínos do leteckej dopravy.

7.1 Augmentácie systému

Úloha augmentácií GNSS je jednoznačná. Pri použití v leteckej doprave základné parametre systému GPS nedostačujú pre bezpečné použitie pri letoch IFR. Preto pri použití prijímača, ktorý nie je schopný a certifikovaný za podmienok IFR, môže slúžiť jedine ako doplnok informácií. Snahou bolo, aby informácie prichádzajúce od prijímača GNSS splňovali všetky podmienky a bola tak zaistená bezpečnosť počas pohybu po trati a počas priblížení.

7.1.1 ABAS

alebo aj Airborne Based Augmentation System vychádza z názvu a príslušné procesy a kontroly prebiehajú na palube lietadla. Existujú dva spôsoby funkcie a to AAIM a RAIM.

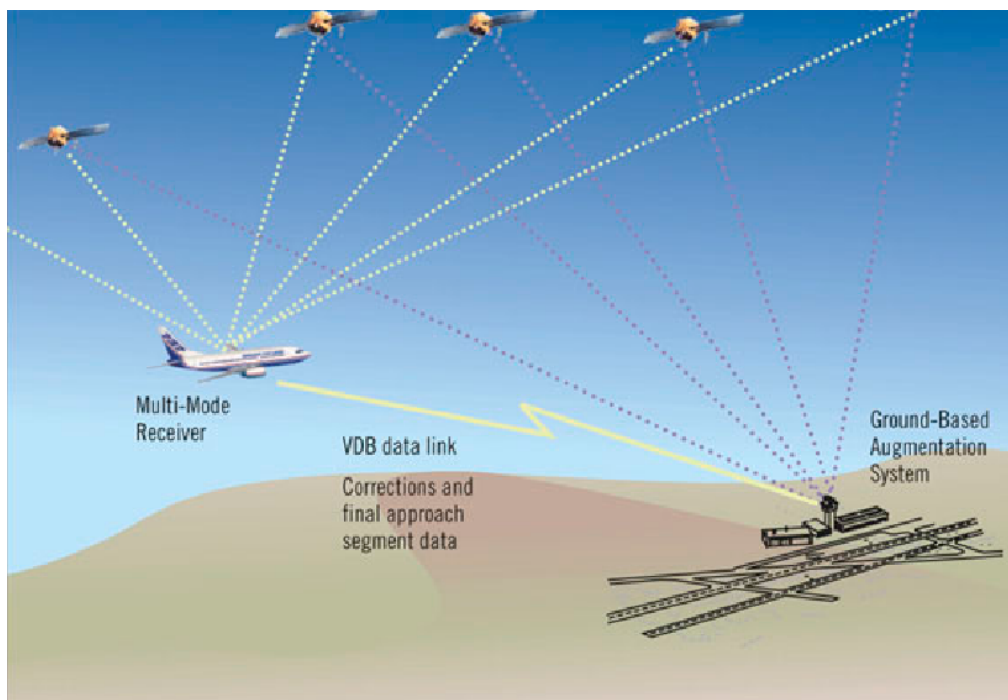
Pri funkcii AAIM dochádza k porovnávaniu výsledkov o polohe z GPS a ostatných informácií o polohe z ostatných palubných systémov(INS/IRS, VOR/DME, DME/DME).

Funkcia RAIM je charakteristická vykonávaním troch druhov činnosti. Kontroluje vnútorné obvody prijímača. Sleduje stav družíc (HEALTH) a kvalitu signálu, a v prípade pochybnej družice ju vyradí a prejde na ďalšiu. V poslednom rade porovnáva, využitie ktorých družíc na oblohe bude najvýhodnejšie pre minimalizáciu DOP. Pre určenie 3D polohy je nutné sledovať aspoň 4 družice. Keďže RAIM sa vyznačuje možnosťou prechodu na inú družicu, je nutné sledovať aspoň 5 družíc, v lepšom prípade až 6, pretože pri použití 5 by po prechode na novú družicu systém stratil svoj status RAIM. Je v záujme posádok si pred letom overovať tzv. RAIM Prediction, kde sú uverejnené odstávky družíc, ktoré by mali v tom čase za normálnych podmienok pracovať.

7.1.2 GBAS

alebo aj Ground Based Augmentation System funguje na princípe využitia pozemných referenčných staníc a práce v diferenčnom režime(DGNSS). Zjednodušene môžeme vysvetliť princíp DGNSS tak, že pozemné stanice prijímajú signály z družíc, ktoré sú ovplyvnené náhodnými chybami a porovnávajú nameranú polohu so skutočnou, presnou a známou polohou prijímača a vyhodnocujú chybu v určení pseudovzdialenosti. Túto korekčnú správu spolu s informáciami o integrite odosiela na palubu lietadiel a je dosahované častokrát až presnosti vyššej než 1m. Podľa toho akú rozlohu pokrývajú, môžu byť buď Wide Area (WADGNSS) alebo Local Area(LADGNSS).

Vo svete je často označovaný systém LADGNSS pod pojmom GBAS. Tento lokálny augmentačný systém funguje na princípe stanice, ktorá sa umiestňuje na letisku (popríklad inom záujmovom priestore). Snahou je, ako už bolo spomenuté, výrazné zvýšenie kvality informácií o polohe lietadla, aby tento druh navigácie bolo možné použiť pri kritických procedúrach ako je priblíženie, čím vzniká názov pre priblíženie pomocou GBAS tzv. GLS(GNSS Landing System). Momentálne tento spôsob priblíženia používa zanedbateľný počet letísk po svete, dôvodom prečo tu tento spôsob je spomínaný je fakt, že systém dosahuje väčšej presnosti a integrity ako priblíženie APV u SBAS. Preto je tento systém smerovaný k použitiu ako náhrada ILS CAT II/III ,čoho nie je už spomínaný SBAS schopný a v najbližších rokoch ani nebude. Preto do vývoja a certifikovania GBAS je vkladané mnoho úsilia.[25]



Obr.11 Štruktúra GBAS [40]

7.1.3 SBAS

Ide o zdokonaľovanie riadiaceho a kozmického systému. Využíva pozemnú sieť staníc (preto sa sem radia aj korekcie od WADGNSS) a geostacionárne družice pokrývajúce danú oblasť.[2]

WAAS (USA)

Wide Area Augmentation System je systém vyvinutý vládou FAA za účelom augmentácie systému GPS s cieľom zvýšiť presnosť, integritu a dostupnosť. Je to systém na princípe SBAS (Space Based Augmentation system), ktorého vývoj začal už v roku 1992 a do obehu sa dostal v roku 2003, za plne prevádzkyschopný bol označený v roku 2008. Podstatou je umožnenie lietadlu spoľahnúť sa na systém GPS vo všetkých fázach letu vrátane presných priblížení na akékoľvek letisko v oblasti pôsobenia. WAAS využíva sieť 38 pozemných prijímačov rozmiestnených v Severnej Amerike. Každé stanovište prijíma signály od všetkých GPS satelitov ktoré sú momentálne dostupné. Z tohto stanovišťa sú informácie prenášané na hlavnú stanicu WAAS, kde sú analyzované hlavné zdroje chýb GPS. Hlavná stanica vytvorí korekčnú správu, ktorá je odoslaná dvojici geostacionárnych družíc. Tieto družice preposielajú túto korekčnú správu prijímačom schopným spracovania, čím sa presnosť zvýši na dva až tri metre. Okrem toho, že družice vysielajú korekčnú správu, zároveň vysielajú aj štandardnú správu na určenie polohy. To znamená, že užívatelia majú k dispozícii dve ďalšie družice nad Severnou Amerikou okrem štandardnej konštelácie GPS.

EGNOS

alebo aj European Geostationary Navigation Overlay Service je európsky projekt na princípe SBAS, ktorý dopĺňa systém GPS a robí ho tak vhodným na aplikácie v leteectve a námorníctve. Skladá sa z troch geostacionárnych družíc nad územím Európy a rozsiahlej siete pozemných staníc. Základný princíp SBAS je taký istý ako u systému WAAS. Je považovaný aj za akési východisko pre systém Galileo, ktorý je vo vývoji. EGNOS je dostupný pre užívateľov schopných prijímať jeho signál od 1. Októbra 2009. Služba Safety of Life je dostupná od 2. Marca 2011.

MSAS

Je japonský SBAS pre systém GPS. Skratka MSAS predstavuje Multi-functional Transport Satellite based Augmentation System. Poskytuje navigačné služby pre lietadlá v oblasti Japonska pomocou dvoch geostacionárnych družíc a siete pozemných staníc v oblasti Tichomoria.

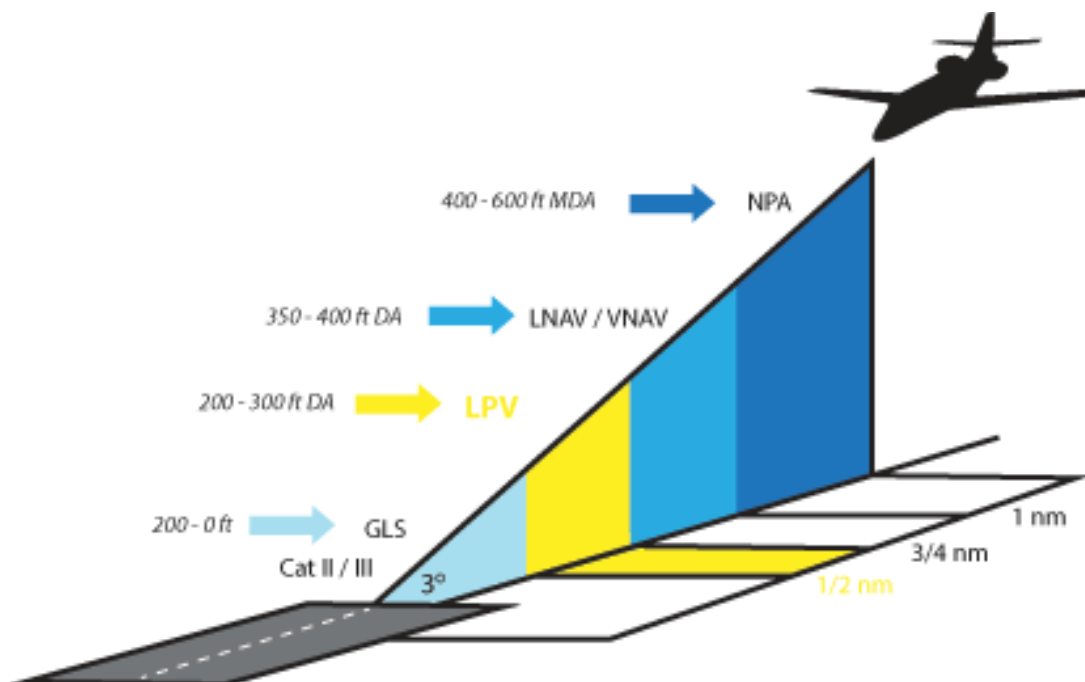
7.1.4 Význam SBAS

Jednou z fáz IFR letu je priblíženie a pristátie. Priblíženie za IFR môže byť vo forme tzv. Precision approach(PA) alebo Non-Precision Approach(NPA), kde hlavným rozdielom je fakt, že PA obsahuje vertikálne aj horizontálne vedenie lietadla do výšky rozhodnutia (DA/H) pri priblížení a NPA iba horizontálne s predpísanou tzv. MDA (Minimum descent altitude), pod ktorú sa nesmie klesať, pokiaľ nie je dráha v dohľade.

Všetky tieto spôsoby priblíženia sú závislé na pozemných rádionavigačných zariadeniach, ktoré sú finančne náročné a navyše ovplyvňované mnohými chybami pri nepriaznivom počasi, ktoré môžu viesť až k odstávke systému. V takomto prípade prichádza do úvahy systém GPS spolu s WAAS/EGNOS, ktoré boli certifikované ako zrovnateľná náhrada CAT I ILS Approach s minimami DH 200ft AGL. Takto je teda eliminovaná nutnosť letiska vlastniť špecifické rádionavigačné zariadenie.[26] Priblíženia s vertikálnym vedením pomocou sú označované skratkou APV (Approaches With Vertical Guidance). Skratka APV v sebe zahŕňa 2 riešenia priblíženia a to:

- APV Baro, kde je vertikálne priblíženie riešené pomocou barometrických vstupov a horizontálna navigácia je uskutočňovaná pomocou GNSS. DH je daná pre LNAV/VNAV. Rizikom u týchto postupov sú 2 faktory. Jedná sa o tzv. Blunder Error, čo je chyba nastavenia QNH a teda indikovanej výšky, preto sa vyžaduje veľmi dôsledná kontrola nastavenia tlaku, kde procedúra Crosscheck je samozrejmosťou. Za druhé je nutná korekcia pri teplotách pod nulou, kde tento fakt spôsobuje, že lietadlo by klesalo pod stanovenou trajektóriou a nemusel by byť zabezpečený bezpečný odstup od prekážok. Letištné približovacie mapy uvádzajú minimálnu hodnotu teploty pre procedúry APV Baro.
- APV SBAS alebo známe aj ako LPV(Localizer Performance With Vertical Guidance), kde je horizontálna aj vertikálna navigácia zaručovaná spoluprácou GNSS+SBAS

do výšky rozhodnutia pre LPV. Výhodou je, že klesanie prebieha po danej krivke a nie na základe barometrickej výšky čím sa vylučujú predošlé možné chyby.[27]



Obr. 12 Vertikálna postupnosť minim jednotlivých typov priblížení [41]

Minimá priblížení často nie sú limitované systémom, ale charakterom letiska, ako napríklad odstup od prekážok a infraštruktúra letiska, preto aj obrázok 13 zobrazuje približnú postupnosť klesania minim pre jednotlivé spôsoby priblížení. Ako bolo spomenuté a je možné aj vidieť na obr. 12, hodnoty jednotlivých DA a MDA si nemusia byť vzdialené a sú podmienené charakterom letiska a jeho okolia. Kombinácia WAAS/EGNOS a GPS jednoznačne prináša radu výhod ako:

- procedúry APV nevyžadujú pozemné rádionavigačné zariadenia
- letiská a ich prevádzka nie sú ovplyvnené polohou týchto zariadení, napr. u ILS tzv. ochranné priestory pre korektnú funkčnosť systému
- priblížení sa vyznačuje väčšou stabilitou oproti ILS
- možnosť LPV u prijímačov finančne dostupných verejnosti[28]

Samozrejme systém nemusí pracovať len vo forme APV. Jednoduchšie prípady sú napríklad NPA, kde je zaistené vedenie len v horizontálnej rovine (LNAV) a je daná určitá MDA. Táto forma je porovnateľná s Non-Precision NDB/VOR/DME Approach, lenže informácia o polohe v horizontálnej rovine vychádza z iného a presnejšieho zdroja. Charakter horizontálnej navigácie je špecifický pre tzv. metódu LP (Localizer Performance), ktorá poskytuje presné horizontálne vedenie a minimá do MDA bez akéhokoľvek vertikálneho vedenia.[27]

OCA/OCH		A	B	C	D
LNAV	ft	1070/306			
LNAV/VNAV	ft	1060/300			
LPV	ft	1060/300			
Circling	ft	1200 R/-	1470 R/-	1570 R/-	1610 R/-

Obr. 13 Příklad minim pre Brno Tuřany RNAV(GNSS) RWY 10 [42]

7.2 Automatic dependent surveillance - Broadcast

Hlavnou úlohou ADS-B je odosielanie informácií o polohe v reálnom čase zložkám ATC, zjednodušovať ich prácu a zvyšovať bezpečnosť ako hustota leteckej dopravy, stále narastá. Druhotnou úlohou je vzájomná komunikácia medzi palubami lietadiel a pilot má tak lepšiu predstavu o polohe ostatných lietadiel. Obe funkcie sú významné z hľadiska bezpečnosti, spotreby paliva a šetrenia času. ADS-B je systém využívajúci pre svoju funkciu informácie o polohe z GNSS(GPS) a odosielanie informácií o svojej polohe pomocou datalinku odpovedača módu S. ADS-B pozná dva spôsoby práce a to:

- ADS-B OUT – vysiela informácie zložkám ATC.
- ADS-B IN – odosielania informácií medzi lietadlami.

Z informácií od ADS-B IN vychádza systém TCAS(Traffic Collision Avoidance System), ktorý upozorňuje na nebezpečné zblíženia prevádzky a dáva pokyny na zásah do riadenia pre úhybný manéver.[29]

7.3 Zaoceánske lety

Veľký význam získali globálne družicové navigačné systémy pri letoch ponad oceány. V minulosti sa pri týchto letoch museli vo veľkej miere spoliehať len na samostatne pracujúce palubné navigačné prístroje ako INS/IRS a čiastočne aj na pozemné hyperbolické systémy, ktoré sa vyznačovali veľkými dosahmi, ale ani tie nedokázali ani zďaleka pokryť celý oceánsky priestor pretože museli byť umiestnené na pevnine. Z toho vyplývalo viacero nevýhod a rizík. Jedným z nich bola možnosť zlyhania už spomenutých palubných zariadení. Navyše boli predpísané rozostupy 60 NM a navigačná presnosť nebola ani zďaleka tak vysoká. Globálny charakter systémov GNSS tak umožňuje lietadlám byť napojené na presný zdroj informácií o polohe nezávisle na pozemných zariadeniach. Navyše sa zlepšilo ekonomické hľadisko ako spotreba a čas. Rozostupy by sa mali v najbližších rokoch v oblasti Severného Atlantiku zmenšiť až na 30 NM.[2]

8. Závěr

Bakalářská práce sa zaoberá prehľadom a porovnaním princípov činnosti súčasných GNSS vo svete. Postupne je v práci približovaná všeobecná podstata činnosti GNSS, aj rozdiely medzi jednotlivými systémami. Možnosti presnosti a integrity sú rozpracované v podstate v celej práci, pretože ako sme mohli vidieť na dané vlastnosti vplýva veľké množstvo faktorov. Nakoniec boli zhodnotené možnosti GNSS prispievať do riešenia úloh v leteckej doprave.

V prvej časti práce som sa zamerlal na definíciu GNSS a pojmov, ktoré špecifikujú vlastnosti navigačných zariadení, z informácií uvedených je zrejmé, že sa kladie vysoký dôraz na presnosť a integritu pri pojednávaní o leteckých aplikáciách.

V ďalšej časti je už priamo rozoberaný princíp činnosti, rozdelenie segmentov, služby a signály poskytované jednotlivými systémami. V tejto časti sa dozvedáme rozdiely medzi systémami zo spomenutých hľadísk a zároveň je najobjemnejšou časťou, pretože táto problematika je vcelku rozsiahla. Je nutné poznamenať že iba GPS a GLONASS sú systémy, ktoré sú momentálne schopné poskytovať svoje služby. Prejavuje sa snaha Ruska o modernizáciu a prechod na iné možnosti riešenia identifikácie a spracovania signálu. V nasledujúcich rokoch sa predpokladá sprístupnenie nových systémov Galileo a COMPASS, ktoré sú vo fáze vývoja. Takto sa otvárajú nové možnosti na spoluprácu systémov a následné využitie signálov družíc od rôznych poskytovateľov služieb. Ak by sme brali ideálny prípad a v budúcnosti by naozaj všetky systémy boli prístupné, pri použití v rizikových oblastiach ako je aj letectvo, by signály boli akoby niekoľkokrát zálohované a pri výpadku jedného alebo aj viacerých by vždy ostával ešte dostatočný počet použiteľných.

Z týchto poznatkov je vidieť že potenciál GNSS ešte nie je ani zďaleka vyčerpaný a postupnou modernizáciou a novými technologickými riešeniami je veľmi pravdepodobné, že GNSS sa stane plnohodnotnou náhradou doterajších pozemných rádionavigačných zariadení sprostredkujúcich informácie pri priblížení a traťových letoch. Spomínaný systém GBAS(LAAS) práve rieši problematiku priblížení a aj keď je po svete len zopár staníc, slúžiacich viac na testovanie možností ako na komerčné využitie, je veľkou snahou v najbližších rokoch implementovať GNSS priblíženia zrovnateľné s minimami kategórií II a III. Priblíženia pomocou SBAS sú v porovnaní oveľa frekvencovanejšie, keďže nevyžadujú priamo žiadnu letištnú zástavbu. V dnešnej dobe veľa spoločností v Severnej Amerike a Európe preškoľuje svoje posádky na priblíženia RNAV APV alebo NPA pomocou SBAS ktorých minimá sú porovnateľné s minimami kategórie I, je ale nutné poznamenať, že nespĺňajú požiadavky na presné priblíženie.

Zhustovanie vzdušného priestoru si žiada nový spôsob určovania polohy lietadla z pohľadu ATC. Systém ADS-B priamo využívajúci určenie polohy pomocou GNSS pomáha zvyšovať úroveň bezpečnosti a stáva sa podmienkou pre významný počet lietadiel. Okrem toho ADS-B slúži ako vstupná informácia pre ďalšie v dnešnej dobe významné systémy ako TCAS, ktorý varuje posádky u situácií nebezpečných zblížení lietadiel.

GNSS sa tak stáva neodmysliteľnou súčasťou pri riešení navigačných úloh, ale aj z hľadiska bezpečnosti. Je veľmi pravdepodobné, že jeho význam bude naďalej rásť a stane sa primárnym spôsobom navigácií leteckých dopravných prostriedkov.

9. Zoznam použitých zdrojov

9.1 Zoznam použitej literatúry

- [1] BHATTA, B. *Global navigation satellite systems: insights into GPS, GLONASS, Galileo, Compass and others*. Hyderabad [India], 2010, xxviii, 438 p. ISBN 9788178002200.
- [2] GEBRE-EGZIABHER, Demoz a Scott GLEASON. *GNSS applications and methods*. Boston, Mass.: Artech House, c2009, xvii, 508 p. GNSS technology and applications series. ISBN 9781596933309.
- [3] GREWAL, Mohinder S, Angus P ANDREWS a BARTONE. *Global navigation satellite systems, inertial navigation, and integration*. 3rd ed. Hoboken: John Wiley, 2013, xl, 561 s. ISBN 978-1-118-44700-0.
- [4] GROVES, Paul D. *Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems*. Boston: Artech House, c2008. GNSS technology and applications series. ISBN 9781580532556.
- [5] JACOBSON, Len. *GNSS markets and applications*. Norwood, MA: Artech House, c2007, xiv, 216 p. ISBN 15-969-3042-X.
- [6] JOINT AVIATION AUTHORITIES. *Radio Navigation: Second Edition, First Impression*. 2001. vyd. ISBN 0884872858.
- [7] MAINI, Anil Kumar, Varsha AGRAWAL a Chris BARTONE. *Satellite technology: principles and applications / Anil K. Maini, Varsha Agrawal*. 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley, 2011, xiv, 674 p. GNSS technology and applications series. ISBN 978-047-0660-249.
- [8] PRASAD, Ramjee a Marina RUGGIERI. *Applied satellite navigation using GPS, GALILEO, and augmentation systems*. Boston: Artech House, c2005, xiii, 290 s. Artech House mobile communications series. ISBN 15-805-3814-2.
- [9] RAPANT, Petr. *Družicové polohové systémy*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002, 197 s. ISBN 80-248-0124-8.
- [10] VOSECKÝ, Slavomír. *Radionavigace (062 00 00 00): učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 197 s. ISBN 978-80-7204-764-2.

9.2 Zoznam internetových zdrojov

- [11] US GOVERNMENT. *Global Positioning System* [online]. [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.gps.gov/systems/gps/space/>
- [12] FEDERAL SPACE AGENCY. *GLONASS* [online]. [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://glonass-iac.ru/en/GLONASS/>

- [13] INTERNATIONAL COMMITTEE ON GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS PROVIDER'S FORUM. *Current and Planned Global and Regional Navigation Satellite Systems and Satellite-based Augmentations Systems* [online]. [cit.2014-03-08]. Dostupné z: <http://www.oosa.unvienna.org/oosa/en/SAP/gnss/icg/publications.html>
- [14] EUROPEAN SPACE AGENCY. *GLONASS Space Segment* [online]. [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: http://www.navipedia.net/index.php/GLONASS_Space_Segment
- [15] EUROPEAN SPACE AGENCY. *Galileo constellation* [online]. [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_future_Galileo/Galileo_a_constellation_of_30_navigation_satellites
- [16] EUROPEAN SPACE AGENCY. *Galileo Ground Segment* [online]. [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: http://www.navipedia.net/index.php/Galileo_Ground_Segment
- [17] EUROPEAN SPACE AGENCY. *COMPASS Ground Segment* [online]. [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: http://www.navipedia.net/index.php/COMPASS_Ground_Segment
- [18] US GOVERNMENT. *GPS Signal Modernization* [online]. [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.gps.gov/systems/gps/modernization/civilsignals/>
- [19] WESTON, Ed. GPS Navigation Satellite message format and protocol details. [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://gpsinformation.net/gpssignal.htm>
- [20] REVNIVYKH, Sergey. FEDERAL SPACE AGENCY. [online]. [cit. 2014-04-07]. Dostupné z: <http://www.oosa.unvienna.org/pdf/icg/2012/icg-7/3-1.pdf>
- [21] POVALYAEV, Alexander. *New Structure for GLONASS Nav Message* [online]. [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://gpsworld.com/new-structure-for-glonass-nav-message/>
- [22] EUROPEAN SPACE AGENCY. *Galileo Navigation Message* [online]. [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: http://www.navipedia.net/index.php/Galileo_Navigation_Message
- [23] UNAVCO. *GNSS Modernization* [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <https://facility.unavco.org/general-info/gnss-modernization/gnss-modernization.html>
- [24] GLONASS Modernization. DOI: GPS World. Dostupné z: <http://gpsworld.com/glonass-modernization-12232/>
- [25] FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. *GBAS* [online]. [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/faq/laas/

- [26] O. OLIVER, Larry. FAA. *GPS with Vertical Guidance* [online]. [cit. 2014-04-19]. Dostupnéz: http://www.flywhatsnext.com/resources/dyn/files/395131z5b17547b/_fn/gpsverticalguidance.pdf
- [27] EUROCONTROL. *RNAV Approaches* [online]. [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: http://www.eurocontrol.int/eec/gallery/content/public/documents/newsletter/2010/issue_2/RNAV%20approaches%20leaflet.pdf
- [28] FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. *Maximizing Airport Operations Using the Wide Area Augmentation System (WAAS)* [online]. [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/media/MaximizingAirportOperationsUsingWAAS.pdf
- [29] VIGIER, Christine. AIRBUS. *Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B)* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/brochures_publications/FAST_maga_zine/FAST47_5-adsb.pdf

9.3 Zoznam použitých obrázkov

- [30] JOINT AVIATION AUTHORITIES. *Radio Navigation: Second Edition, First Impression*. 2001. vyd. ISBN 0884872858.
- [31] MAINI, Anil Kumar, Varsha AGRAWAL a Chris BARTONE. *Satellite technology: principles and applications / Anil K. Maini, Varsha Agrawal*. 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley, 2011, xiv, 674 p. GNSS technology and applications series. ISBN 978-047-0660-249.
- [32] PRASAD, Ramjee a Marina RUGGIERI. *Applied satellite navigation using GPS, GALILEO, and augmentation systems*. Boston: Artech House, c2005, xiii, 290 s. Artech House mobile communications series. ISBN 15-805-3814-2.
- [33] EUROPEAN SPACE AGENCY. <http://www.navipedia.net/index.php/File:GlonassConstellation.JPG>
- [34] GPS US GOVERNMENT. [online]. [cit. 2014-03-14]. Dostupné z: <http://www.gps.gov/systems/gps/control/>
- [35] RAPANT, Petr. *Družicové polohové systémy*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002, 197 s. ISBN 80-248-0124-8.
- [36] EUROPEAN SPACE AGENCY. [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: <http://www.redorbit.com/news/space>
- [37] EUROPEAN SPACE AGENCY. [online]. [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: http://www.navipedia.net/index.php/Galileo_Navigation_Message
- [38] EUROPEAN SPACE AGENCY. [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://www.navipedia.net/images/f/f6/GNSS_navigational_frequency_bands.png

- [39] LANGLEY, Richard B. Dilution of Precision. Dostupné z:
http://www.nrem.iastate.edu/class/assets/nrem446_546/week3/Dilution_of_Precision.pdf
- [40] BOEING. [online]. [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_21/gnss_fig1.html
- [41] CUTTER AVIATION. *What is WAAS/LPV* [online]. [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://www.cutteraviation.com/aircraft-service-avionics-support/avionics-sales-service/beechnjet-400a-hawker-400xp-waas-lpv-upgrade-rockwell-collins/>
- [42] AIP: AD 2 LETIŠTĚ (IFR). *LKTB RNAV GNSS Approach RWY 10* [online]. [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: http://lis.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aip.htm

10. Zoznam použitých skratiek:

AAIM	Aircraft Autonomous Integrity Monitoring
ABAS	Airbourne Based Augmentation System
ADC	Air Data Computer
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance – Broadcast
AGL	Above Ground Level
APV	Approach with Vertical Guidance
ARNS	Aviation Radio Navigation Service
ATC	Air Traffic Control
AWR	Airbourne Weather Radar
CDMA	Code Division Multiple Access
CNS	Communication, Navigation, Surveillance
CS	Commercial Service
C/A	Coarse Acquisition
C/NAV	Commercial Navigation Message
DA/H	Decision Altitude/Height
DGNSS	Differential Global Navigation Satellite System
DOP	Dilution of Precision
DME	Distance Measurement Equipment
EGNOS	European Geostacionary Navigation Overlay Service
FAA	Federal Aviation Administration
FDMA	Frequency Division Multiple Access
F/NAV	Freely accessible Navigation Message
GBAS	Ground Based Augmentation System
GCS	Galileo Control System
GDOP	Geometric Dilution of Precision
GEO	Geostacionárna družica
GLONASS	Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema
GLS	GNSS Landing System
GMS	Galileo Mission System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GSS	Galileo Sensor Station
GTRF	Galileo Terrestrial Reference Frame
G/NAV	Governmental Navigation Message
HDOP	Horizontal Dilution of Precision
HPNS	High Precision Navigation Signal
IFR	Instrument Flight Rules
ILS	Instrument Landing System
INS	Inertial Navigation System
IRS	Inertial Reference System
I/NAV	Integrity Navigation Message
kap.	kapitola
km	kilometer
km/h	kilometer za hodinu
LADGNSS	Local Area DGNSS
LNAV	Lateral Navigation
LP	Localizer Performance
LPV	Localizer Performance with Vertical Guidance

MEO	Medium Earth Orbit
MHz	Megahertz
MDA	Minimum Descent Altitude
MSAS	Multi-functional Transport Satellite based Augmentation System
NAVSTAR	Navigation by Satellite Timing and Ranging
NM	Nautical Mile
NPA	Non-Precision Approach
obr.	obrázok
OS	Open Service
P	Precision
PA	Precision Approach
PDOP	Position Dilution of Precision
PPS	Precision Positioning Service
PRN	Pseudo Random Noise
PRS	Public Regulated Service
PRZ	Pozemné rádionavigačné zariadenie
PZ	Parametry Zemli
QNH	Barometrický tlak vzhľadom k hladine mora
RAIM	Receiver autonomous integrity monitoring
RNAV	Area Navigation/Random Navigation
RNSS	Radio Navigation Satellite Service
SA	Selective Availability
SAR	Search and Rescue
SBAS	Space Based Augmentation System
SOL	Safety of Life
SPNS	Standard Precision Navigation Signal
SPS	Standard Positioning Service
TCAS	Traffic Collision Avoidance System
TDOP	Time Dilution of Precision
TMA	Terminal Manouvering Area
TTC	Telemetry Tracking and Control
UHF	Ultra High Frequency
UTC	Universal Time Coordinated
VDOP	Vertical Dilution of Precision
VFR	Visual Flight Rules
viz.	pozri
VNAV	Vertical Navigation
VOR	Omni-Directional Radio Range
WAAS	Wide Area Augmentation System
WADGNSS	Wide Area DGNSS
WGS	World Geodetic Survey
3D	troj-dimenzionálny